



Nadia Hoyet

MATÉRIAUX et ARCHITECTURE DURABLE

FABRICATION ET TRANSFORMATIONS
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET ARCHITECTURALES
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE

DUNOD

Couverture : Maud Warg

Maquette intérieure : Marie Léman

Mise en page : PCA

Cartographie : Fabrice Weexsteen

Réalisation des schémas : Raphaëlle Balazot et PCA

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du

droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2013

ISBN 978-2-10-056353-1

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^o et 3^o a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Sommaire

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

LES MATÉRIAUX ET LE PROJET ARCHITECTURAL	15		
Un développement paradoxal.....	15	Le matériau mis en œuvre sur le chantier.....	18
Les matériaux dans l'architecture : un processus complexe.....	16	Le matériau utilisé et perçu.....	18
Les états du matériau.....	16	Le matériau démonté.....	18
Le matériau conçu et fabriqué.....	16	Le matériau recyclé.....	19
Le matériau prescrit, agencé et dessiné.....	17	Le choix des matériaux : une démarche multicritères	19
COMPOTEMENT DES MATÉRIAUX DANS L'ARCHITECTURE	20		
L'architecture répond à un contexte.....	20	Les caractéristiques du concept architectural.....	23
Créer des espaces de vie : les données du programme.....	21	Créer la forme.....	23
S'inscrire dans un site.....	22	La perception de l'espace architectural.....	25
Matériaux et techniques constructives.....	23	Les propriétés architecturales des matériaux	27
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES MATÉRIAUX DANS LA CONSTRUCTION	28		
Résistance mécanique.....	28	Dilatation thermique.....	31
Généralités.....	28	Conductivité thermique.....	31
Compression.....	28	Comportement aux agents extérieurs	31
Traction.....	29	Comportement au feu	31
Flexion.....	30	Inflammabilité.....	31
Comportement thermique	31	Résistance au feu.....	32
COMPOTEMENT ENVIRONNEMENTAL	32		
Approche descriptive.....	32	Labels et normes	33
Impact environnemental de la fabrication.....	32	Les fiches de déclaration environnementale et sanitaire.....	33
Les territoires de production.....	32	Environmental Product Declarations : les EPD.....	36
Impact lors de la mise en œuvre sur le chantier.....	33	Qualité environnementale des bâtiments : HQE, LEED et BREEAM.....	37
Vie en œuvre.....	33		
Fin de vie.....	33		

CHAPITRE 2 LE BOIS ET LES AUTRES MATÉRIAUX DE LA BIOMASSE

LE BOIS

REPÈRES HISTORIQUES			40
Avant l'industrie.....	40	L'habitat premier.....	40
Le matériau des origines de la construction.....	40	Expression architecturale des cultures du monde.....	41

Charpentes, toitures et planchers.....	42	Transformations industrielles.....	44
Depuis la révolution industrielle.....	44	La filière bois en France.....	46
ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE			46
Composition.....	46	Séchage.....	51
Photosynthèse.....	46	La préservation des bois.....	51
Les principales espèces utilisées en construction.....	47	Procédés de transformation : les fabrications industrielles	52
Procédés de transformation : de la forêt à la construction	48	Les transformations primaires.....	52
Abattage et débardage.....	48	Les bois de structure issus du sciage.....	52
Sciage.....	48	Les produits issus du déroulage.....	56
Classement des bois.....	51	Les panneaux dérivés de la trituration et du recyclage.....	57
Déroulage et tranchage.....	51	Matériaux isolants à base de bois.....	59
PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES			60
Symbolique.....	60	Structure par plans et voiles : construction à ossature bois et panneaux.....	61
Forme et expression structurelle.....	61	Surfaces développées.....	62
Structure par éléments linéaires : poutres et poteaux 61		Ambiances et intimité.....	62
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES			63
Résistance mécanique.....	63	Les risques biologiques.....	64
Critères de variation.....	63	Les mesures de préservation.....	65
Le cas des produits industrialisés.....	63	Comportement au feu	65
Comportement thermique.....	64	Réaction au feu.....	65
Comportement aux agressions climatiques et environnementales.....	64	Tenue et résistance au feu.....	66
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE			66
Impact environnemental de la fabrication des matériaux.....	66	Les territoires de production : incidence du transport	68
Origine des matériaux : une ressource écologique.....	66	Impact lors de la mise en œuvre sur chantier	68
Sylviculture raisonnée.....	66	Vie en œuvre	68
Consommation énergétique liée à la fabrication ..	67	Entretien / maintenance.....	68
Consommation d'eau.....	67	Taux de renouvellement.....	69
Bilan carbone.....	67	Évolutivité de la construction.....	69
Sous-produits liés au cycle de production.....	67	Fin de vie. Capacité du système à se renouveler	69
Rejets polluants.....	67		
LE BAMBOU			
PRÉSENTATION ET SPÉCIFICITÉS			69
Une herbe remarquable.....	69	Forme et composition.....	70
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES			71
TRANSFORMATION ET APPLICATIONS			71
Exploitation traditionnelle.....	71	Lamelles.....	71
Exploitation industrielle.....	71	Fibres et poudres.....	71

LE CHANVRE

PRÉSENTATION	73		
Une culture réhabilitée	73	Mode de culture	73
La plante	73	Constitution	73
PROCESSUS DE TRANSFORMATION			73
Récolte	73	Défilage	73
APPLICATIONS			74
Les laines isolantes	74	Les granulats de chanvre	74

LE LIN

PRÉSENTATION			75
Mode de culture	75	La récolte	75
TRANSFORMATION			75
APPLICATIONS			76
Laine de lin	76	Granulats de lin	76

LA PAILLE

PRÉSENTATION			76
Des bottes en forme de parpaings	76	Écologie constructive	77
TECHNIQUES CONSTRUCTIVES			77
Bottes de paille et ossature bois	77	Technique du GREB	78
Caractéristique thermique des bottes de paille	77	Paille porteuse ou technique du Nebraska	78
Industrialisation du procédé et avis technique	77	Les panneaux de paille compressée	78
Comportement au feu	78	Mode de fabrication	78

CHAPITRE 3

L'ACIER

RÉPÈRES HISTORIQUES			79
La fabrication par méthode directe; de 2500 av. J.-C. au xiv ^e siècle	79	L'aciérie électrique	81
La fonte des hauts-fourneaux; du xiv ^e à la fin du xviii ^e siècle	80	Les aciers contemporains : 3 000 nuances	81
La sidérurgie moderne et la révolution industrielle : du xix ^e siècle à aujourd'hui	81	L'architecture et les métaux ferreux	82
		Avant la fonte	82
		Avec la fonte	82
		Une nouvelle culture constructive	83

ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE	85		
Composition.....	85	L'affinage.....	88
Le minerai de fer.....	85	Deuxième étape : la coulée.....	88
Le coke.....	85	Troisième étape : le laminage.....	89
La ferraille.....	85	Les produits sidérurgiques	
Autres matières premières.....	85	pour la construction	90
Procédés de fabrication	86	Structure et ossature : les produits longs.....	90
Première étape : l'acier en fusion.....	86	Couverture, façade et plancher : les produits plats.....	94
PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES	97		
Symbolique.....	97	Transparence et lumière.....	99
Forme et expression structurelle.....	97	Confort high-tech.....	100
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES	101		
Résistance mécanique.....	101	Risques de corrosion.....	102
Comportement thermique.....	102	Comportement au feu.....	103
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE	104		
Impact environnemental de la fabrication	104	Impact lors de la mise en œuvre sur chantier	105
Les matières premières des hauts fourneaux.....	104	Vie en œuvre	106
Consommation énergétique et consommation d'eau.....	104	Entretien et maintenance.....	106
Pollutions liées à la fabrication.....	105	Taux de renouvellement.....	106
Les territoires de production ; incidence du transport.....	105	Évolutivité de la construction.....	106
		Fin de vie. Capacité du système à se renouveler	106

CHAPITRE 4

LES BÉTONS ET LES AUTRES LIANTS HYDRAULIQUES**LE BÉTON**

REPÈRES HISTORIQUES	107		
La chaux, ancêtre du ciment.....	107	L'architecture du « mouvement moderne » et le béton.....	109
Le béton romain.....	108	Préfabrication et essor de la filière.....	111
La re-découverte du béton.....	108	L'industrialisation.....	111
Le béton armé.....	109	Les nouveaux bétons.....	111
Le béton précontraint.....	109		
ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE	112		
Composition.....	112	Prise du ciment.....	115
Le ciment.....	112	Les types de ciment.....	116
Les agrégats.....	113	Mise en œuvre des bétons	117
L'eau.....	114	La préparation du béton.....	117
Les adjuvants.....	114	Les types de béton.....	118
Les colorants.....	115	La mise en forme du béton.....	118
La formulation du béton.....	115	La réalisation de l'état de surface.....	120
Procédés de fabrication du ciment	115	Matériaux isolants à base de béton	121
Extraction et concassage des matières premières.....	115	Le béton cellulaire.....	121
Préparation de la matière première : le cru.....	115	Le béton de granulats isolants.....	122
Cuisson du cru.....	115	Les composants isolés en polystyrène expansé (PSE).....	122
Broyage et livraison.....	115		

PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES 122

Symbolique.....	122	Le matériau multi-fonction.....	124
Formes et expression structurelle.....	122	Lumière, couleurs et textures.....	124
La forme du moule.....	122	Ambiances et confort.....	124

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES 126

Résistance mécanique.....	126	Comportement aux agressions climatiques et environnementales.....	126
Compression et traction.....	126	Les effets de la pollution.....	126
Le retrait.....	126	La résistance au gel.....	127
Propriétés thermiques.....	126	Comportement au feu.....	127
Conductivité thermique.....	126	La réaction au feu.....	127
Inertie thermique.....	126	La résistance au feu.....	127

APPROCHE ENVIRONNEMENTALE 127

Impact environnemental de la fabrication des constituants.....	127	Emissions de particules.....	128
Carrières d'extraction.....	127	Les territoires de production : incidence énergétique du transport.....	128
Les adjuvants.....	127	Impact lors de la mise en œuvre sur chantier.....	129
Épuisement des matières premières.....	128	Vie en œuvre.....	129
Recyclage de sous-produits industriels.....	128	Entretien et maintenance.....	129
Consommation énergétique liée à la fabrication.....	128	Taux de renouvellement.....	129
Consommation d'eau.....	128	Évolutivité de la construction.....	129
Rejets polluants.....	128	Fin de vie. Capacité du système à se renouveler.....	129
Dégagement CO ₂	128		

LA CHAUX

LES CHAUX NATURELLES 130

Fabrication de la chaux.....	130	Propriétés des chaux naturelles.....	131
La chaux aérienne (CL).....	130	Comportement à l'air et à l'eau.....	131
Applications.....	130	Propriétés bactéricides.....	131
La chaux hydraulique (NHL).....	131	Élasticité.....	131
Applications.....	131		

LES CHAUX ARTIFICIELLES (HL) 131

LE PLÂTRE

FABRICATION 132

Extraction du gypse.....	132	Gâchage.....	132
Cuisson.....	132		

MISE EN ŒUVRE 133

Mise en œuvre traditionnelle.....	133	Mise en œuvre industrielle.....	133
Les enduits.....	133	Les carreaux de plâtre.....	133
Le staff.....	133	Les plaques de plâtre.....	133
Le stuc.....	133		

PROPRIÉTÉS 135

Porosité.....	135	Résistance au feu.....	135
---------------	-----	------------------------	-----

LA PIERRE

RÈPÈRES HISTORIQUES			137
Pierre de taille et pierre maçonnée	137	La pierre à l'ère industrielle	139
ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE			140
Origine et identification des roches	140	La taille	141
Formation	140	Les finitions	142
Composition et forme	141	Les types d'ouvrage et la normalisation	142
Étapes de mise en œuvre : de la roche		Matériaux isolants à base de roches	142
à la pierre	141	Laine de roche	142
Extraction	141	Aérogel de silice : les supers isolants	143
PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES			144
Symbolique	144	Pierres minces	145
Formes et expression structurelle	144	Lumière, couleurs et textures	145
Blocs massifs	144	Ambiances et confort	145
Maçonneries mixtes	145		
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES			146
Masse volumique	146	Porosité, imperméabilité	146
Résistance mécanique	146	Comportement thermique	
Dureté et degré d'usure	146	et comportement au feu	147
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE			147
Carrières d'extraction	147	Impact lors de la mise en œuvre sur chantier ..	148
Épuisement des matières premières	147	Vie en œuvre	148
Recyclage de sous-produits de carrières	147	Entretien et maintenance	148
Consommations et rejets liés au processus	147	Évolutivité de la construction et renouvellement ..	148
Les territoires de production : incidence			
énergétique du transport	148		

LA TERRE

RÈPÈRES HISTORIQUES			149
Un matériau millénaire	149	Un renouveau par étapes	150
ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE			151
Origine et constitution	151	Les techniques de mise en œuvre	152
Origine	151	Constructions monolithiques	152
Constitution	151	Constructions maçonnées	153
Nature des grains	151	Constructions mixtes	153
Étapes d'une construction en terre	151	Types d'ouvrages	153
Identification	151	Gros-œuvre	153
Propriétés physiques fondamentales de la terre ..	152	Second-œuvre	153
Amélioration des terres	152	Infrastructures	153

PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES	154		
Symbolique et expression structurelle	154	Ambiances et confort	155
Lumière, couleur et textures	154		

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES	155		
Résistance mécanique.....	155	Résistance aux agressions extérieures	155
Propriétés thermiques.....	155		

APPROCHE ENVIRONNEMENTALE	155		
Impact environnemental des constructions en terre	155	Mise en œuvre, vie et fin de vie d'une construction en terre.....	156
Consommation de ressources.....	155	Impact lors de la mise en œuvre sur chantier.....	156
Consommation en énergie et en eau	156	Vie en œuvre	156
Rejets polluants	156	Évolutivité de la construction.....	156
Les territoires de production : incidence du transport	156		

LA TERRE CUITE

REPÈRES HISTORIQUES	157		
De la poterie aux murs de briques.....	157	L'industrialisation des briqueteries	157

ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE	159		
Composition.....	159	Types de produits	160
Procédés de fabrication.....	159	Construction des murs et des cloisons	161
Extraction des terres	159	Réalisation des toitures et des bardages.....	161
Préparation de la pâte.....	159	Matériaux isolants à base de terre cuite	162
Façonnage	159	Les briques « monomur ».....	162
Séchage	159	L'argile expansée	162
Cuisson.....	160		

PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES	163		
Symbolique et expression structurelle.....	163	Parément et ornement	163

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES	165		
Résistance mécanique.....	165	Porosité	165
Comportement thermique et résistance au feu	165		

APPROCHE ENVIRONNEMENTALE	165		
Impact environnemental de la fabrication.....	165	Les territoires de production : incidence énergétique du transport.....	166
Carrières d'extraction	165	Mise en œuvre, vie et fin de vie d'une construction en terre.....	166
Épuisement des matières premières	165	Impact lors de la mise en œuvre sur chantier.....	166
Recyclage de sous-produits industriels	165	Vie en œuvre	167
Consommation en énergie et en eau	166	Fin de vie. Capacité du système à se renouveler	167
Rejets polluants	166		

CHAPITRE 6 LE VERRE

REPÈRES HISTORIQUES		169	
Le verre soufflé.....	169	Le verre étiré.....	171
Le verre coulé.....	170	Le verre flotté.....	173
ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE		173	
Composition.....	173	La trempe.....	176
Fabrication du verre plat : transformations primaires.....	174	Le bombage.....	176
Mélange des matières premières.....	174	Assemblages des verres plats.....	176
Fusion.....	174	Doubles et triples vitrages.....	177
Fabrication des plaques.....	174	Vitrages feuilletés.....	177
Verres à couche peu émissive.....	176	Matériaux isolants à base de verre.....	177
Transformations secondaires du verre plat.....	176	Le verre cellulaire.....	177
		La laine de verre.....	178
PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES		178	
Symbolique.....	178	Lumière, couleurs et textures.....	180
Formes et expression.....	179	Ambiances et confort.....	182
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES		183	
Résistance mécanique.....	183	Agressions climatiques et environnementales.....	185
Propriétés énergétiques.....	184	Comportement au feu.....	185
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE		185	
Impact environnemental de la fabrication.....	185	Vie en œuvre.....	187
Les matières premières : disponibilité.....	185	Entretien et maintenance.....	187
Consommation énergétique et consommation d'eau liées à la fabrication.....	185	Taux de renouvellement.....	187
Pollutions liées à la fabrication.....	186	Évolutivité de la construction.....	187
Les territoires de production : incidence du transport.....	187	Fin de vie. Capacité du système à se renouveler.....	187
Impact lors de la mise en œuvre sur chantier.....	187	Recyclage.....	187
		Recyclage dans l'industrie du ciment.....	187

CHAPITRE 7 LE CAS PARTICULIER DES POLYMÈRES

REPÈRES HISTORIQUES		189	
Les premiers plastiques.....	190	Macromolécules et pétrole : l'essor des polymères.....	191
Les plastiques issus de la cellulose.....	190	Les polymères dans la construction.....	192
Les plastiques issus de la caséine du lait.....	190		
ÉLABORATION ET MISE EN ŒUVRE		192	
Composition.....	192	Les matériaux isolants à base de polymères.....	198
Procédés de fabrication.....	193	Le polystyrène expansé, PSE.....	198
Extraction du pétrole et du gaz.....	193	La mousse de polyuréthane.....	198
Fabrication.....	193	Les matériaux à changement de phase.....	198
Procédés de mise en forme.....	196		

PROPRIÉTÉS ARCHITECTURALES ET CONSTRUCTIVES	198		
Symbolique.....	198	Lumière, couleurs et textures	201
Expressions structurelles.....	199	Les enveloppes translucides.....	201
L'architecture textile.....	200	Les « peaux composites ».....	202
Les coques en matériaux composites.....	200	Panneaux d'agencement.....	202
Les structures en tubes composites pultrudés....	200	Univers de l'artifice.....	202
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES	202		
Masse spécifique.....	203	Comportement au feu	203
Apparence.....	203	Réaction au feu.....	203
Comportement mécanique.....	203	Résistance au feu.....	204
Comportement à la déformation.....	203	Emanations toxiques.....	204
Résistance aux agents chimiques et aux conditions climatiques.....	203		
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE	204		
Impact environnemental de la fabrication.....	204	Les territoires de production : incidence du transport.....	205
Matières premières.....	204	Impact lors de la mise en œuvre sur chantier..	205
Consommation énergétique et consommation d'eau liées à la fabrication.....	205	Vie en œuvre.....	206
Pollutions liées à la fabrication.....	205	Entretien et maintenance.....	206
Autres impacts.....	205	Taux de renouvellement.....	206
Risques accidentels.....	205	Fin de vie. Capacité du système à se renouveler.....	206

CHAPITRE 8 CONCLUSION

Mixité et complémentarité des matériaux.....	207	Construire des ouvrages démontables et recyclables.....	211
Les matériaux écologiques.....	207	Prescrire des matériaux sains.....	211
Parti-pris architectural.....	208	Composer avec l'ensemble des matériaux.....	211
Prescrire des matériaux locaux.....	209		
Favoriser des solutions techniques à faible coût	209		

CRÉDITS

Photographies.....	213	Illustrations.....	213
--------------------	-----	--------------------	-----

INDEX	215		
--------------------	-----	--	--